

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



**НАУКОВІ ПРАЦІ
ДОНЕЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

*Серія: “Обчислювальна техніка
та автоматизація”*

№ 1(26) 2014

Донецьк
2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАУКОВІ ПРАЦІ
ДОНЕЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

*Серія: “Обчислювальна техніка
та автоматизація”*

Всеукраїнський науковий збірник

Заснований у липні 1998 року

Виходить 2 рази на рік

№ 1(26) 2014

Донецьк
2014

УДК 681.5: 658.5: 621.3

Друкується за рішенням Вченої ради державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» (протокол № 6 від 20.06.2014).

У збірнику опубліковано статті науковців, аспірантів, магістрів та інженерів провідних підприємств і вищих навчальних закладів України, в яких наведено результати наукових досліджень та розробок, виконаних у 2013-2014 роках згідно напрямків: автоматизація технологічних процесів, комп'ютерні інформаційні технології, інформаційно-вимірювальні системи, електронні і мікропроцесорні прилади.

Матеріали збірника призначено для викладачів, наукових співробітників, інженерно-технічних робітників, аспірантів та студентів, що займаються питаннями розробки і використання автоматичних, комп'ютерних і електронних систем.

Засновник та видавець – Донецький національний технічний університет.

Редакційна колегія: О.А. Мінаєв, чл-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф., головний редактор; Є.О. Башков, д-р техн. наук, проф., заступник головного редактора; Є.Б. Ковальов, д-р техн. наук, проф., відп. секретар випуску; Ахім Кінле д-р техн. наук, проф.; Іван Тауфер д-р техн. наук, проф.; А.А. Зорі, д-р техн. наук, проф.; О.Г. Воронцов, д-р техн. наук, проф.; Ю.О. Скобцов, д-р техн. наук, проф.; Н.І. Чичикало, д-р техн. наук, проф.; М.М. Заблодський, д-р техн. наук, проф.; В.В. Турупалов, канд. техн. наук, проф.; К.М. Маренич, канд. техн. наук, проф.; О.В. Хорхордін, канд. техн. наук, доц.; М.Г. Хламов, канд. техн. наук, доц.; Б.В. Гавриленко, канд. техн. наук, доц.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: серія КВ № 7376 від 03.06.2003.

Збірник включено до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (затверджено постановою президії ВАК України № 1-05/5 від 01. 07. 2010 р., надруковано в бюлетені ВАК №7, 2010).

Збірник включено до бібліографічної бази даних наукових публікацій Російський індекс наукового цитування (РІНЦ) (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=38108)

ЗМІСТ

Стор.

Розділ 1 Автоматизація технологічних процесів	5
Борисов А.А. Применение FF-, FB-, MFC-AGC регуляторов в концепции управления приводами клетей прокатного стана по мощности.	6
Воротникова З.Е. Формирование и использование архивной базы данных в системе «советчик оператора доменной печи»	14
Суздаль В.С., Тавровский И.И., Соболев А.В., Кобылянский Б.Б. Система с параметрической инвариантностью для процессов кристаллизации	24
Лапта С.С., Масолова Н.В., Зиновьева Я.В. Развитие теории моделирования переходного процесса в сложной гомеостатической системе	29
Мироненко Л.П., Петренко И.В., Власенко А.Ю. Интеграл Ньютона-Лейбница и вторая интегральная теорема о среднем	36
Найденова Т.В., Федюн Р.В. Синтез САУ процессом биохимической водоочистки	41
Федюн Р.В. Автоматичне управління занурювальними насосами водовідливу ліквідованих шахт	51
Гарматенко А.М. Алгоритм поиска кратковременной памяти в данных акустической эмиссии угольных пластов	61
Розділ 2 Інформаційні технології та телекомунікації	69
Воропаєва А.О. Розробка методу керування безпроводовими телекомунікаційними мережами нового покоління на основі застосування підходу максимізації завантаженості мережі	70
Гостев В.И., Кунах Н.И., Артюшик А.С. Аппроксимация звена чистого запаздывания для АQM-систем комплексной передаточной функцией звена Паде	77
Дегтяренко И.В., Лозинская В.Н. Динамические модели средств управления трафиком в сетевом узле	85
Дмитриева О.А. Оптимизация выполнения матрично-векторных операция при параллельном моделировании динамических процессов	94
Євсєєва О.Г. Використання комп'ютерно-орієнтованих засобів проектування і організації навчання математики на засадах діяльнісного підходу в технічному університеті	101
Воропаєва В.Я., Жуковська Д.О. Оцінка впливу алгоритмів обробки черг на показники QOS	111
Воропаєва В.Я., Кабакчей В.И. Выбор методов оценки количества меток в рабочей зоне RFID-ридера для достижения максимальной пропускной способности	119
Кануннікова К.П., Червинський В.В. Алгоритм динамічного регулювання споживаної потужності мікростілками гетерогенної мережі LTE	126
Klymash M.M., Haider Abbas Al-Zayadi, Lavriv O.A. Improving throughput using channel quality indicator in LTE technology	134

Мірошкін О.М. Модифікація системи адресації мікрокоманд у пристрої керування при його реалізації у базисі гібридних FPGA	144
Молоковский И.А. Моделирование процессов распространения радиоволн в подземной части угледобывающего предприятия	152
Пасічник В.В., Назарук М.В. Інформаційно-технологічний супровід системних трансформацій вітчизняної освітньої галузі	160
Батыр С.С., Хорхордин А.В. Особенности оценки эффективности методов управления очередью маршрутизатора	169
Розділ 3 Інформаційно-вимірювальні системи, електронні та мікропроцесорні прилади	177
Вовна А.В., Зори А.А. Оптический измеритель концентрации метана с аппаратно-программной компенсацией температурного дрейфа	178
Жукова Н.В., Литвинов В.И., Голиков В.В. Лабораторный стенд регулируемого линейного асинхронного электропривода – аналога электропривода постоянного тока	189
Кузнецов Д.Н., Чупис Д.А. Исследование физической модели ступенчатого испытательного воздействия для определения динамических характеристик термопреобразователей	202
Куценко В.П. Математичне моделювання властивостей діелектричних матеріалів при використанні мікрохвильових експертних систем	210
Лыков А.Г., Косарев Н.П. Исследование влияния ширины спектра излучения источника на чувствительность измерительных каналов газоанализаторов выхлопных газов автомобильного транспорта	218
Штепа А.А. Обоснование концепции структурно алгоритмической организации модульной компьютеризированной информационно-измерительной системы электрофизиологических сигналов	226

Розділ 1

Автоматизація технологічних процесів

УДК 621.3.078.3+681.543

**В.С. Суздаль (д-р техн. наук, ст. науч. сотр.), И.И. Тавровский (канд. техн. наук),
А.В. Соболев (канд. техн. наук), Б.Б. Кобылянский (канд. техн. наук)**
«Институт сцинтилляционных материалов» НАН Украины, г. Харьков
лаборатория систем управления
e-mail: sobolev@isma.kharkov.ua

СИСТЕМА С ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИНВАРИАНТНОСТЬЮ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Проведен синтез системы с параметрической инвариантностью выхода для управления процессом выращивания монокристалла. Показано, что синтезированная система управления в состоянии подавлять возмущения характерные для ростовых систем.

Ключевые слова: инвариантные системы, ростовые системы, синтез регуляторов.

Общая постановка проблемы

Решение задачи инвариантности подразумевает определение такой структуры и параметров системы управления, при которых качество функционирования системы не зависит от возмущений. В [1] получены необходимые и достаточные условия инвариантности по выходу для линейных стационарных динамических систем к произвольным внешним возмущениям.

Процессы выращивания крупногабаритных сцинтилляционных монокристаллов относятся к классу многомерных многосвязных объектов управления (ОУ), параметры которых в условиях промышленного производства подвержены изменениям. Поэтому для процессов кристаллизации необходима система управления, которая обеспечивает сохранение основных ее характеристик при изменении параметров объекта управления в достаточно широких пределах, т.е. системы с параметрической инвариантностью [2].

Постановка задачи синтеза регулятора

Пусть задана математическая модель объекта управления в пространстве состояний в виде линейной стационарной системы без запаздывания и ограничений на управление

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + \rho w(t), x(0) = x_0, \quad (1)$$

$$y(t) = Cx(t). \quad (2)$$

где $x(t) \in R^n$ – n -мерный вектор состояния системы, $u(t) \in R^l$ – l -мерный вектор управления и $y(t) \in R^m$ – m -мерный вектор контролируемых координат, $w(t) \in R^s$ – s -мерный вектор возмущений. Компоненты вектора w принадлежат к классу произвольных непрерывных функций.

Реализацию в пространстве состояний (1), (2) обозначим четверкой матриц (A, B, C, ρ) соответствующих размеров с постоянными числовыми элементами.

Введем в рассмотрение регулятор

$$u = Kx(t), \quad (3)$$

где K – постоянная матрица коэффициентов усиления.

Пусть $\rho = \Delta A + \Delta B K$, где ΔA и ΔB – параметрические возмущения матриц A и B соответственно. Известно, что система (1) – (3) обладает параметрической инвариантностью выхода к параметрическим возмущениям ρ , если выполняется тождество

$$W_y^0(p) = C(pI_n - A - BK)^{-1} \equiv C(pI_n - A - BK - \rho)^{-1}, \quad (4)$$

где $W_y^0(p)$ – передаточная матрица от начальных условий к выходу.

Задача синтеза регулятора заключается в определении условий существования и описания всех регуляторов, обеспечивающих выполнение тождества (4) при фиксированных матрицах A, B, C и ρ . Если обозначить через $\overline{M}^L, \overline{M}^R$ и \tilde{M} левый и правый делители нуля и сводный канонизатор максимального ранга для некоторой матрицы M [3], то эти условия определяются следующим выражением для соответствующих матриц [1]

$$\overline{C}^R \overline{\pi}^L \rho = 0, \quad (5)$$

где π – матрица максимального столбцового ранга, удовлетворяющая условию

$$\overline{C}^R \overline{\pi}^L B \overline{C}^R \overline{\pi}^L A \overline{C}^R \pi = 0 \quad (6)$$

и система замкнута любым регулятором из множества

$$\{K\} \chi \gamma = -(\overline{C}^R \overline{\pi}^L B) \tilde{C}^R \overline{\pi}^L A \overline{C}^R \pi (\overline{C}^R \overline{\pi}^L \tilde{C}^R) + \overline{C}^R \overline{\pi}^L B \chi + \gamma \overline{C}^R \overline{\pi}^L, \quad (7)$$

где χ и γ – матрицы заданных размеров с произвольными числовыми элементами.

Алгоритм формирования матрицы π максимального ранга, удовлетворяющую условию (6) приведен в [1]:

1. Проверяется условие

$$\overline{C}^R \overline{\pi}^L B \overline{C}^R \overline{\pi}^L A \overline{C}^R \pi = 0. \quad (8)$$

Если это условие выполняется, то принимается $\pi = \pi_0 = I_{(n-\text{rank}C)}$.

2. Если условие (8) не выполняется, то определяется матрица

$$\pi_1 = \overline{C}^R \overline{\pi}^L B \overline{C}^R \overline{\pi}^L A \overline{C}^R \pi_0.$$

Если $\pi_1 = 0$, то система не обладает инвариантностью, а алгоритм останавливается. В противном случае проверяется условие (6) при $\pi = \pi_1$.

3. Если условие (6) на предыдущем шаге не выполняется, то i увеличивается на единицу и определяется матрица i -й итерации.

$$\pi_i = \overline{C}^R \overline{\pi}_{i-1}^L B \overline{C}^R \overline{\pi}_{i-1}^L A \overline{C}^R \pi_{i-1}. \quad (9)$$

Если $\pi_i = 0$, то система не обладает инвариантностью, а алгоритм останавливается. В противном случае проверяется условие (6) при $\pi = \pi_i$.

4. Алгоритм останавливается на k -ом шаге при первом выполнении условия (6). Матрица π максимального ранга имеет значение π_k .

Регулятор для процесса выращивания

Моделирование процесса выращивания, как объекта управления, проводилось на примере получения крупногабаритных активированных монокристаллов GsJ методом Чохральского. Процесс выращивания рассматривался как двумерный линейный стационарный объект управления с двумя входными величинами – температура Td основного и температура Tb дополнительного нагревателя и двумя выходами – диаметр кристалла Ds и температура подпиточного расплава Tr [4].

Модель ОУ в пространстве состояний имеет следующие матрицы

$$A = \begin{bmatrix} x1 & x2 & x3 & x4 \\ x1 & 0 & -1.548 & 0 & 0 \\ x2 & 1 & -5.453 & 0 & 0 \\ x3 & 0 & 0 & 0 & -0.4322 \\ x4 & 0 & 0 & 0.5 & -3.124 \end{bmatrix},$$

$$B = \begin{bmatrix} u1 & u2 \\ x1 & -0.5019 & 2.142 \\ x2 & 0.2637 & 5.573 \\ x3 & 0.2915 & -0.3939 \\ x4 & 1.699 & -0.8284 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} x1 & x2 & x3 & x4 \\ y1 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ y2 & 0 & 0 & 20 \end{bmatrix}.$$

Модель ОУ устойчива, полностью управляема и наблюдаема.

Условие (5) выполняется на первом шаге для $\pi = I_{(2)}$. Так как для рассматриваемого

ОУ $\overline{C^R} \pi \overline{B}^L = 0$, то из (7) находим класс регуляторов по выражению

$$K = -(\overline{C^R} \pi \overline{B}) \overline{C^R} \pi \overline{A} \overline{C^R} \pi (\overline{C^R} \pi)^{\sim} + \gamma \overline{C^R} \pi^L.$$

$$K = \begin{bmatrix} 0.0855 & 0 & 0.2877 & 0 \\ 0.1754 & 0 & -0.0136 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Если выбрать $\gamma = [-5.69 \quad -0.977; \quad 0 \quad 0]$, то получим конкретную реализацию регулятора

$$K = \begin{bmatrix} 0.0855 & -5.690 & 0.2877 & 0.9770 \\ 0.1754 & 0 & -0.0136 & 0 \end{bmatrix}.$$

Переходной процесс в замкнутой системе с регулятором K по каналу: температура Td основного нагревателя – диаметр кристалла Ds приведен на рисунке 1.

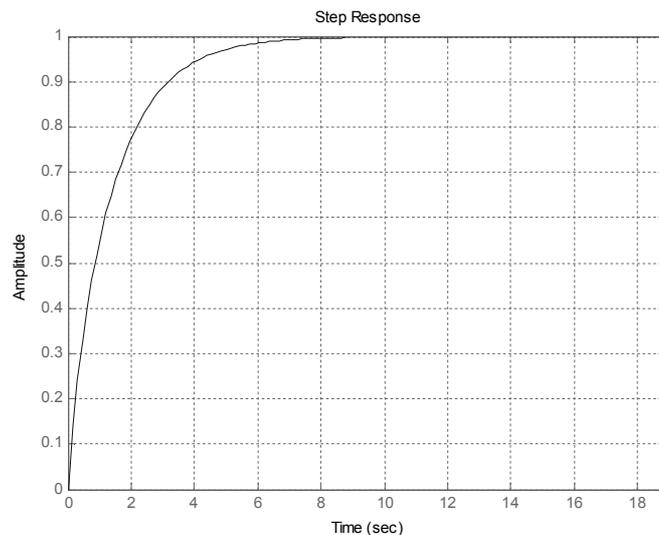


Рисунок 1 – Переходной процесс в замкнутой системе по каналу: температура Td основного нагревателя – диаметр кристалла Ds

Длительность переходного режима для замкнутой системы – 5 секунд. Это стандартное отображение качества управления для инерционных ОУ, какими является процесс выращивания крупногабаритных монокристаллов, позволяет сделать вывод, что синтезированный регулятор может быть использован для управления выращиванием активированных монокристаллов.

Множество параметрических возмущений ρ , для которых при любом регуляторе из множества (7) обеспечивается параметрическая инвариантность, определяется выражением

$$\{\rho\}_\mu = \overline{C^R} \pi \mu, \quad (10)$$

где μ – матрица соответствующего размера с произвольными числовыми элементами.

Для рассматриваемого ОУ имеем $\bar{C}^R = [0 \ 1; 0 \ 0; 1 \ 0; 0 \ 0]$, т.е. в синтезированной системе подавляются параметрические возмущения, определяемые матрицей

$$\{\rho\}_\mu = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu_{11} & \mu_{12} & \mu_{13} & \mu_{14} \\ \mu_{21} & \mu_{22} & \mu_{23} & \mu_{24} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{21} & \mu_{22} & \mu_{23} & \mu_{24} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \mu_{11} & \mu_{12} & \mu_{13} & \mu_{14} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Выводы

В системах выращивания крупногабаритных монокристаллов методом Чохральского параметры объекта управления подвержены изменениям при изменении условий выращивания, а также с течением времени, что можно интерпретировать как параметрические возмущения в системе. Проведен синтез системы с параметрической инвариантностью выхода для управления процессом выращивания. Синтезированная система управления, как показывает выражение (11), в состоянии подавлять такие возмущения при соответствующем выборе матрицы μ .

Список использованной литературы

1. Буков В.Н. Условия инвариантности выхода линейных систем / В. Н. Буков, А. М. Бронников // Автоматика и телемеханика. – 2005. – №2. – С.21–35.
2. Рост кристаллов / [В. И. Горилецкий, Б. В. Гринев, Б. Г. Заславский и др.]. – Харьков: АКТА, 2002. – 535 с.
3. Решение матричных уравнений методом канонизации / [В.Н. Буков, В.Н. Рябченко, В.В. Косьянчук, Е.Ю. Зыбин] // Вестник Киевского ун-та. Сер. Физ.-мат. науки. – 2002. – Вып. 1. – С. 19-28.
4. Параметрическая идентификация VARMAX моделей процесса кристаллизации крупногабаритных монокристаллов / [В. С. Суздаль, Ю. М. Епифанов, А. В. Соболев, И. И. Тавровский] // Нові технології: науковий вісник Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління. – 2009. – №4(26). – С. 23–29.

References

1. Bukov, V.N. and Bronnikov, A.M., (2005), "Invariance condition of output linear systems", *Avtomatika i telemehanika*, no. 2, pp. 21–35.
2. Gorileckij, V.I., Grinev, B.V. and Zaslavskij, B.G. (2002), *Rost kristallov* [Crystal Growth], АКТА, Har'kov, Ukraine.
3. Bukov, V.N., Rjabchenko, V.N. and Zybin, E.Ju. (2002), "Solution of matrix equations by canonization", *Vestnik Kievskogo un-ta. Ser. Fiz.-matem. Nauki*, no. 1, pp. 19-28.
4. Suzdal, V.S., Epifanov, Ju.M. and Tavrovskij, I.I. (2009), "Parametric identification VARMAX models crystallization process large single crystals", *Novi tehnologii. Naukovij visnik Kremenchuc'kogo universitetu ekonomiki, informacijnih tehnologij i upravlinnja*, no. 4(26), pp. 23–29.

Надійшла до редакції:
20.05.2014

Рецензент:
канд. техн. наук, проф. Маренич К.М.

В.С. Суздаль, І.І. Тавровський, О.В. Соболев, Б.Б. Кобилянський
«Інститут сцинтиляційних матеріалів» НАН України

Система з параметричною інваріантністю для процесів кристалізації. Проведено синтез системи з параметричною інваріантністю виходу для управління процесом вирощування

монокристалів. Синтезована система управління в стані пригнічувати збурення, що в цілому характерні для ростових систем.

Ключові слова: інваріантні системи, ростові системи, синтез регуляторів.

V. Suzdal, I. Tawrovskiy, O. Sobolev, B. Kobilyanskiy

Institute for Scintillation Materials, NAS of Ukraine

System with parametric invariance for crystallization processes. The synthesis of system for control process of crystal growth with parametric invariance of the output variable was carried out. The synthesized control system is able to suppress the disturbances generally typical of growing plants.

Keywords: invariance system, system for growing crystals, synthesis of regulators.

Суздаль Виктор Семенович, Украина, закончил Харьковский политехнический институт, доктор технических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией систем управления «Института сцинтилляционных материалов» НАН Украины (просп. Ленина, 60, г. Харьков, 64001, Украина). Основное направление научной деятельности – идентификация, моделирование и развитое управление технологическими процессами.

Тавровский Игорь Игоревич, Украина, закончил Харьковский авиационный институт, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории систем управления «Института сцинтилляционных материалов» НАН Украины (просп. Ленина, 60, г. Харьков, 64001, Украина). Основное направление научной деятельности – программно-аппаратные комплексы для управление технологическими процессами.

Соболев Александр Викторович, Украина, закончил Харьковский национальный университет радиоэлектроники, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории систем управления «Института сцинтилляционных материалов» НАН Украины (просп. Ленина, 60, г. Харьков, 64001, Украина). Основное направление научной деятельности – идентификация и моделирование процессов кристаллизации.

Кобылянский Борис Борисович, Украина, закончил Украинскую инженерно-педагогическую академию, кандидат технических наук, доцент, кафедра электроники и компьютерных технологий систем управления (ул. Носакова 9а, г. Артемовск, 84500, Украина). Основное направление научной деятельности – моделирование и управление современными технологическими процессами.